

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



(19)

(11) Publication number:

11051962 A

Generated Document.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN(21) Application number: **10154070**(51) Intl. Cl.: **G01P 15/09**(22) Application date: **03.06.98**(30) Priority: **04.06.97 JP 09146706**(43) Date of application
publication: **26.02.99**(84) Designated contracting
states:(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD**(72) Inventor: **OOTSUCHI TETSUO
KAWAKITA KOJI
KAGATA HIROSHI
TAKEDA KATSU
MORITOKI KATSUNORI
KAWASAKI OSAMU
KATO JUNICHI**

(74) Representative:

**(54) ACCELERATION
SENSOR**

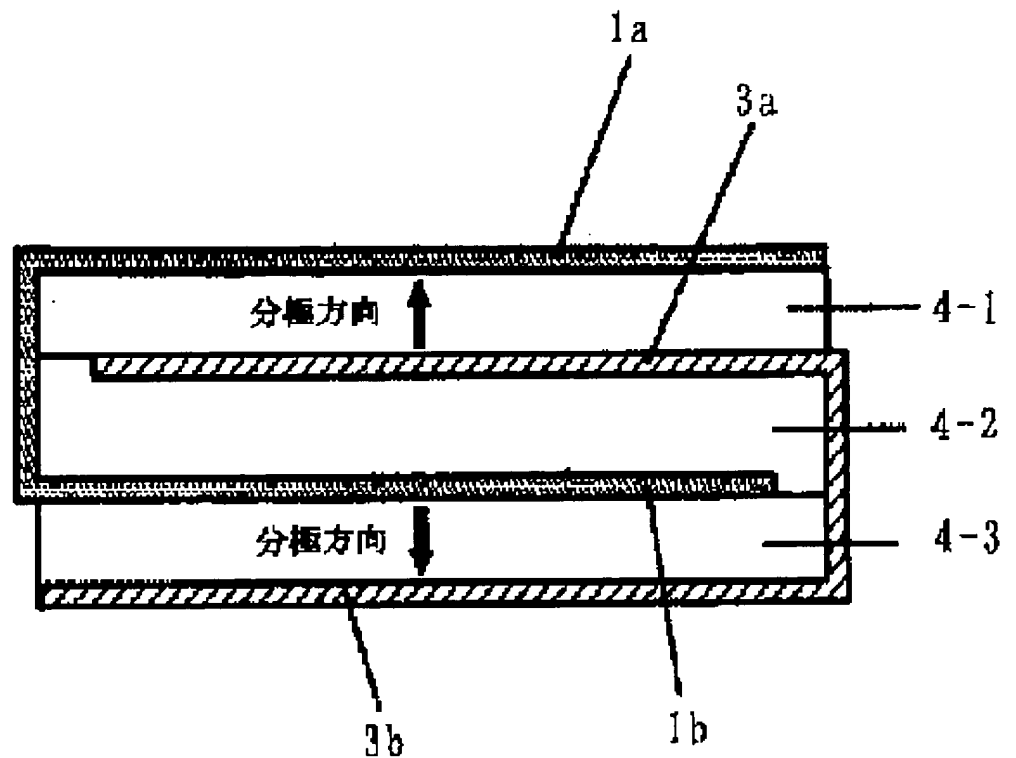
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize an acceleration sensor with high sensitivity without mounting a high resistance on a board, and without reducing the output voltage up to a low frequency region with regard to a given magnitude of acceleration.

SOLUTION: An acceleration sensor is provided both with an piezoelectric element 100 having a piezoelectric body layer in which a plurality of piezoelectric bodies 4-1, 4-2, and 4-3 are laminated and electrodes 1a, 3a, 1b, and 3b that have been provided on the main opposed surfaces of the respective piezoelectric body layers 4-1, 4-2, and 4-3, and with a supporting body for supporting the

piezoelectric element 100; and some of the piezoelectric bodies 4-1, 4-3 out of the piezoelectric body layers are polarized, and on both surfaces of the polarized piezoelectric bodies, electrodes 1a, 3a, 1b, 3b are provided, and the impedances formed by the polarized piezoelectric bodies and the electrodes on both surfaces thereof are electrically connected to each other in a parallel condition.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-51962

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 0 1 P 15/09

G 0 1 P 15/09

// G 0 1 P 21/00

21/00

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平10-154070

(22) 出願日 平成10年(1998) 6月3日

(31) 優先権主張番号 特願平9-146706

(32) 優先日 平 9 (1997) 6月4日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 大土 哲郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 川北 晃司

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 加賀田 博司

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 松田 正道

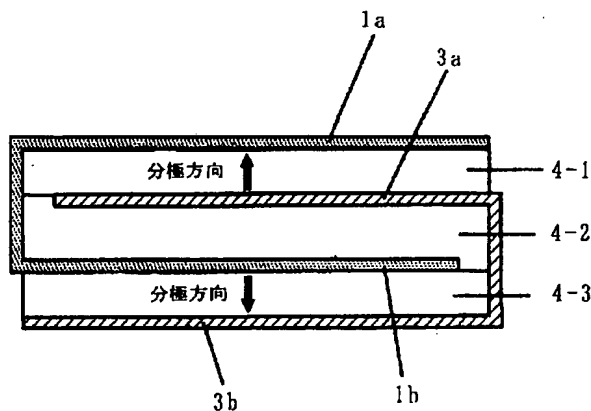
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速度センサ

(57) 【要約】

【課題】 高抵抗を基板に実装することなく、低周波数域まで、一定の加速度の大きさに対して、出力電圧が低下することなく高い感度を有する加速度センサを実現すること。

【解決手段】 複数の圧電体4-1、4-2、4-3が積層された圧電体層及び各圧電体層4-1、4-2、4-3の主たる対向する面に設けられた電極1a、3a、1b、3bを有する圧電素子100と、圧電素子100を支持する支持体とを備え、圧電体層の内いくつかの圧電体4-1、4-3は分極されており、その分極された圧電体の両面には電極1a、3a、1b、3bが設けられ、その分極された圧電体とその両面の電極により形成されるインピーダンスが互いに電気的に並列接続状態となっていることを特徴とする加速度センサである。



100 圧電素子

1a, 1b, 3a, 3b 電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の圧電体が積層された圧電体層及び前記各圧電体層の主たる対向する面に設けられた電極を有する圧電素子と、前記圧電素子を支持する支持体とを備え、

前記圧電体層の内いくつかの圧電体は分極されており、その分極された圧電体の両面には前記電極が設けられ、その分極された圧電体とその両面の電極により形成されるインピーダンスが互いに電気的に並列接続状態となっていることを特徴とする加速度センサ。

【請求項2】 前記各圧電体層は矩形状であり、その圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、それぞれの2つの電極は前記圧電素子の長辺に実質上沿って設けられていることを特徴とする請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項3】 前記各圧電体層は矩形状であり、その圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、それぞれの2つの電極は前記圧電素子の短辺に実質上沿って設けられていることを特徴とする請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項4】 前記各圧電体層は円板状であり、その圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、それぞれの2つの電極は同心円状に設けられていることを特徴とする請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項5】 前記圧電素子は、前記円板状の各圧電体層の中心を貫通する貫通孔を有することを特徴とする請求項4に記載の加速度センサ。

【請求項6】 前記圧電素子は、前記矩形状の各圧電体層の長辺の実質上中心で支持されていることを特徴とする請求項2又は3に記載の加速度センサ。

【請求項7】 前記圧電素子は、前記円板状の各圧電体層の実質上中心で支持されていることを特徴とする請求項4又は5に記載の加速度センサ。

【請求項8】 前記電極と、外部にある別の電極との電気的接続は、前記支持体を介して行われていることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の加速度センサ。

【請求項9】 前記2つの電極のうち、一つは自己診断時の駆動用電極、他方は振動検出用電極であることを特徴とする請求項2～8のいずれかに記載の加速度センサ。

【請求項10】 前記圧電素子は矩形状であり、前記圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、前記支持体は前記各圧電体層の長辺の実質上中心で支持し、前記2つに分かれた電極のうち一つは振動検出用電極であり前記圧電素子の前記表面の中央に配置され、他方は自己診断時の駆動用電極であり前記圧電素子の前記表面の長手方向の両端又はそれら両端の近傍にそれぞれ配置されるとともに互いに接続されてい

ることを特徴とする請求項1記載の加速度センサ。

【請求項11】 前記駆動用電極は、前記圧電素子の他の圧電体層の面Fの両端又はそれら両端の近傍にもそれぞれ配置され、その面F上の駆動用電極はその面Fにおいても互いに接続されていることを特徴とする請求項10記載の加速度センサ。

【請求項12】 前記駆動用電極は、前記圧電素子の他の圧電体層の面Fの両端又はそれら両端の近傍にもそれぞれ配置され、その面F上の駆動用電極はその面Fにおいては互いに接続されていないことを特徴とする請求項10記載の加速度センサ。

【請求項13】 前記圧電層の同じ面上に配置された前記振動検出用電極と前記駆動用電極との間に、それら電極に接続されないダミー部材が配置されていることを特徴とする請求項10記載の加速度センサ。

【請求項14】 前記振動検出用電極と前記駆動用電極とは、外部にある別の電極に、前記支持体を介して接続されていることを特徴とする請求項10～13のいずれかに記載の加速度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、加速度の測定や振動の検知等に用いられる加速度センサに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、電子機器の小型が進み、ノート型パソコン等の携帯用電子機器が普及してきた。これらの電子機器の衝撃に対する信頼性を確保・向上するために、小型で表面実装可能な高性能の加速度（衝撃）センサの需要が高まっている。例えば、高密度のハードディスクへの書き込み動作中に衝撃が加わると、ヘッドの位置ずれが生じる。その結果、データの書き込みエラーやヘッドの破損を引き起こす可能性がある。そこで、ハードディスクに加わった衝撃を検出し、書き込み動作を停止したり、ヘッドを安全な位置に退避させる必要がある。

【0003】また、自動車の衝突時の衝撃から搭乗者を保護するためのエアバック装置の衝撃検知用加速度センサやサスペンションコントロールのための加速度の検知などの需要も高まっている。これらの加速度センサに対しては、さらに小型、軽量化が要望されている。

【0004】ところで、圧電セラミックスが加速度センサとして使用できるのは、加速度に比例する力が圧電セラミックスに加わると圧電セラミックスの内部に歪みが生じ、圧電セラミックスの両面に電荷が発生するからである。図38は従来の圧電式の加速度センサの圧電素子500の構造を示す図であり、板状または円板上の圧電セラミックス50と金属板が接着された構造をしており、圧電セラミック50の上下両面には電極が形成されており、一方の面の電極を2つに分け、自己診断時の駆動用電極52と検出用電極51として用いる。この圧電素子

500が上下方向にたわみ振動すると電荷が出力電極に発生する。

【0005】圧電型加速度センサの一般的な信号処理回路を図39に示す。加速度を計測する加速度センサは電界効果型トランジスタ（以下FET）を用いたソースフォロワ回路を用いる。このソースフォロワ回路では、インピーダンス変換効率が大きく、回路の利得はほぼ0dBである。

【0006】図39の回路において、低周波側の出力周波数範囲は、加速度センサの有する静電容量C11と加速度センサと並列に接続された抵抗Rhからなるハイパスフィルタの時定数（ $1/\omega s$ ）より求まるカットオフ周波数で決まる。そして、ハイパスフィルタのカットオフ周波数fhcは、

$$\begin{aligned} fhc &= 1/\omega s \\ &= 1/(2\pi \cdot C11 \cdot Rh) \end{aligned}$$

である。

【0007】一般に圧電型加速度センサの静電容量は形状に依存するが、圧電セラミックを用いて作製された圧電センサは数100pFである。また抵抗Rhは、その抵抗Rhをゲート抵抗として汎用に用いられているチップ抵抗を用いる場合、1M～10MΩ程度である。したがって、圧電セラミックを用いた圧電センサの場合、カットオフ周波数は、数100Hz程度になる。

【0008】以上のように圧電型加速度センサの測定可能な周波数の下限は、加速度センサの容量とこれと接続される抵抗値によって決まり、それより低周波側では出力が低下する。

【0009】次に、自己診断の原理を以下に説明する。圧電素子には、発信器からの自己診断パルスが自己診断の駆動用電極に印加される。圧電素子は、自己診断パルスによって振動し、その振動によって、加速度センサが振動する。そのとき、検出用電極にはその振動の大きさに応じた電荷が発生し、信号処理回路で電圧に変換される。自己診断パルスにより生じた振動を検出した結果の電圧が、あらかじめ定めた値と異なる場合、加速度センサの異常と診断し、異常の際の処置をとるような信号処理回路となっている。以上により、加速度センサの故障を自己診断する機能を付加することができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、圧電セラミックを用いた加速度センサがエアバック等の安全装置や悪路における乗り心地を改善するために用いられる場合に要求される特性としては、出来るだけ低い周波数域までの加速度検出が可能であること、また、検出可能な範囲でもその検出感度が優れていること、焦電効果が小さいこと、自己診断ができることである。

【0011】できるだけ低い周波数の範囲まで加速度検出出来るためには、上述したカットオフ周波数が小さいことが必要である。従って、加速度センサの容量とこれ

と接続される抵抗値を大きくする必要がある。

【0012】そこで、加速度センサと並列に接続する抵抗Rhを大きくすることにより、カットオフ周波数fhcを小さくし、低周波まで一定の出力を得るという方策がある。しかしながら、10MΩを越える抵抗はかなり高価であり、現実的でない。

【0013】また、実装する基板の配線間の漏れ電流などにも特別の注意を払わなければ、実質的に高抵抗を得られないという課題がある。抵抗体の基板への接続端子などに漏れ電流防止のガードリングなどの部材を設けなければならない。湿度などの環境の変化に対して、基板の配線間の漏れ電流が変化し、抵抗値が見かけ上小さくなるなどの問題がある。

【0014】また、図39の信号処理回路は、集積回路化することは容易であるが、Rhのように10MΩ以上の高抵抗は、現在の半導体技術で集積回路の中に組み込むことは非常に困難である。したがって、加速度センサと信号処理用集積回路の他に高抵抗を別に用意して実装しなければならないが、そうすると実装部品の点数が多くなり、また実装面積が広くなり、衝撃検知装置などの小型化の妨げとなる。

【0015】他方、加速度センサの静電容量C11を大きくするという方策がある。圧電加速度センサの静電容量は材料が同一の場合、圧電体の厚さが薄いほど大きく、面積が広いほど大きくなる。圧電体を薄くすればよいが、薄くなれば機械的強度が低下し割れやすくなり、また工程上でも扱いにくくなるという問題がある。また、面積を大きくすると小型化が難しくなる。さらに、圧電体の形状は、測定周波数帯と密接に関係する共振周波数を決定するため、圧電センサの形状を容易に変更することはできないという課題を有している。従って、容量を大きくするには別のやり方を考える必要がある。

【0016】他方、所定の周波数範囲で検出できるとしても、その感度が高い必要がある。ところで、同一の圧電セラミックを用いた場合、振動により発生する電荷の量は一定であり、 $Q（電荷）= C（容量）V（感度）$ であるから、感度は容量が小さい方が高いことになる。

【0017】すなわち、加速度センサを、出来るだけ低周波領域も検出できるとともに、感度を高くするためには、容量を大きくする必要があるとともに適正な大きさが必要である。

【0018】また、感度に関しては、振動時の発生電荷が小さいと、信号を増幅するために、2段のアンプを使用することになり、回路が複雑になる。また、同時に、ノイズに対して同様に増幅されることから、SN比が悪くなり誤動作の防止のために、より回路が複雑になるという問題を有していた。

【0019】さらに、自己診断するために駆動用電極に発信器により発振パルスを与え、低周波数で駆動して振動を振動検出用電極で検出する場合には、上述した様に

振動検出用電極からの出力電圧は、振動検出用電極部の圧電素子の容量が小さいために小さくなる。振動検出用電極は圧電素子全面に設けられていないので、圧電素子全体の容量よりさらに低くなる。また、振動検出用電極に生じる電荷量も面積に応じて小さくなる。

【0020】自己診断時の振動検出の低周波での出力電圧が小さくなると、低周波での自己診断の精度が低下する。したがって、すべての周波数帯域における自己診断を精度よく行うことができないという問題があった。

【0021】また、自己診断電極の面積は、小さすぎると振動を感知できず、また、大きすぎると振動が大きくなり、圧電体の破壊が起こるという問題を有していた。しかしながら、自己診断電極の面積を小さくして、検出用電極との間隔が大きくなると素子中に電極のない部分が大きくなる。圧電体層の面に電極がある部分と内部部分があると、収縮率の差により圧電素子にそりやうねりが生じてしまい、安定してそりのない素子を得ることが出来なかった。

【0022】本発明は、上記従来の各種課題に鑑みてなされたものであり、高抵抗を基板に実装することなく、低周波数域まで、一定の加速度の大きさに対して、出力電圧が低下することなく高い感度を有し、また、平坦な出力電圧の周波数特性を得ることができ、広い周波数範囲で自己診断が精度よく行うことができ、また信号取り出しの容易な小型の加速度センサを提供することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】第1の本発明（請求項1に対応）は、複数の圧電体が積層された圧電体層及び前記各圧電体層の主たる対向する面に設けられた電極を有する圧電素子と、前記圧電素子を支持する支持体とを備え、前記圧電体層の内いくつかの圧電体は分極されており、その分極された圧電体の両面には前記電極が設けられ、その分極された圧電体とその両面の電極により形成されるインピーダンスが互いに電気的に並列接続状態となっていることを特徴とする加速度センサである。

【0024】第2の本発明（請求項2に対応）は、前記各圧電体層は矩形状であり、その圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、それぞれの2つの電極は前記圧電素子の長辺に実質上沿って設けられていることを特徴とする第1の本発明の加速度センサである。

【0025】第3の本発明（請求項3に対応）は、前記各圧電体層は矩形状であり、その圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、それぞれの2つの電極は前記圧電素子の短辺に実質上沿って設けられていることを特徴とする第1の本発明の加速度センサである。

【0026】第4の本発明（請求項4に対応）は、前記各圧電体層は円板状であり、その圧電体層の少なくとも

一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、それぞれの2つの電極は同心円状に設けられていることを特徴とする第1の本発明の加速度センサである。

【0027】第5の本発明（請求項5に対応）は、前記圧電素子は、前記円板状の各圧電体層の中心を貫通する貫通孔を有することを特徴とする第4の本発明の加速度センサである。

【0028】第6の本発明（請求項6に対応）は、前記圧電素子は、前記矩形状の各圧電体層の長辺の実質上中心で支持されていることを特徴とする第2又は3の本発明の加速度センサである。

【0029】第7の本発明（請求項7に対応）は、前記圧電素子は、前記円板状の各圧電体層の実質上中心で支持されていることを特徴とする第4又は5の本発明の加速度センサである。

【0030】第8の本発明（請求項8に対応）は、前記電極と、外部にある別の電極との電気的接続は、前記支持体を介して行われていることを特徴とする第1から7のいずれかの本発明の加速度センサである。

【0031】第9の本発明（請求項9に対応）は、前記2つの電極のうち、一つは自己診断時の駆動用電極、他方は振動検出用電極であることを特徴とする第2～8のいずれかの本発明の加速度センサである。

【0032】第10の本発明は（請求項10に対応）は、前記圧電素子は矩形状であり、前記圧電体層の少なくとも一方の表面に存在する電極は2つに分かれており、前記支持体は前記各圧電体層の長辺の実質上中心で支持し、前記2つに分かれた電極のうち一つは振動検出用電極であり前記圧電素子の前記表面の中央に配置され、他方は自己診断時の駆動用電極であり前記圧電素子の前記表面の長手方向の両端又はそれら両端の近傍にそれぞれ配置されるとともに互いに接続されていることを特徴とする第1の本発明の加速度センサである。

【0033】第11の本発明（請求項11に対応）は、（図24、図29対応）前記駆動用電極は、前記圧電素子の他の圧電体層の面Fの両端又はそれら両端の近傍にもそれぞれ配置され、その面F上の駆動用電極はその面Fにおいても互いに接続されていることを特徴とする第10の本発明の加速度センサである。

【0034】第12の本発明（請求項12に対応）は、（図31、33、35対応）前記駆動用電極は、前記圧電素子の他の圧電体層の面Fの両端又はそれら両端の近傍にもそれぞれ配置され、その面F上の駆動用電極はその面Fにおいては互いに接続されていないことを特徴とする第10の本発明の加速度センサである。

【0035】第13の本発明（請求項13に対応）は、前記圧電層の同じ面上に配置された前記振動検出用電極と前記駆動用電極との間に、それら電極に接続されないダミー部材が配置されていることを特徴とする第10の本発明の加速度センサである。

【0036】第14の本発明（請求項14に対応）は、前記振動検出用電極と前記駆動用電極とは、外部にある別の電極に、前記支持体を介して接続されていることを特徴とする第10～13のいずれかの本発明の加速度センサである。

【0037】すなわち、本発明の加速度センサは、圧電素子の厚み方向では素子の表面近傍での電荷の発生が大きく、また、長手方向では中心保持近傍部分での電荷の発生が大きいことを利用し、圧電素子に応力が加わったとき、素子がたわみ、表面の変形と、中心保持された近傍部分の変形が大きくなり、圧電効果により発生した電荷を有効に利用するものである。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図1から図21を用いて説明する。

【0039】（実施の形態1）図1に本発明の実施の形態である加速度センサに用いる圧電素子の外観図を示す。圧電素子100は、層4-1、層4-2、層4-3からなる3つの層を積層した構造で矩形状をしている。いずれの層もジルコン酸チタン酸鉛を主成分とするシート状のセラミクスからなる。層4-1、層4-3の厚さはいずれも50 μ mとし（10 μ mから80 μ m程度が好適である）、層4-2は100 μ mとした。シート状のセラミクスを積層して焼成するため、圧電セラミクスの板を貼り合わせる場合に比べて、各層を薄くすることができ、各層の静電容量が大きくなる。層4-1の上面には2つの電極1aと電極2aが分割して形成されており、いずれも矩形の長手方向に平行して設けられている。また図では示されないが層4-3の底面には電極3b（共通電極の一部）が形成されている。電極1aと電極2bは端面の一部（図1では左手前側）にも連続して形成されている。電極はいずれも銀により形成し、厚さは1000Å（ナノメートル。以後同様）～10000Åとした。

【0040】図2は圧電素子100の電極1a部におけるX-X'での断面図である。また、図3は各層の電極の平面図である。層4-2と層4-3の間に形成された電極1bと電極2bは層4-1の表面に設けられた電極1a、2aとほぼ同じ形状で同様に分割しており、矩形の長手方向に平行に設けられている。電極1aは層4-2と層4-3の間に形成された電極1bと端面で接続されている。図2には示されていないが、電極2aも電極1と同様に内部電極2bと接続されている。同様に底面の電極3bと、層4-1と層4-2の間に形成された電極3a（共通電極の一部）とは、電極1とは反対側の端面で接続されている。電極1a、2a、1b、2bは接続するため一方の端（図では左側）まで形成されている。電極1b、2bは電極3の接続部との短絡を防ぐため、図の右側では端からわずかに後退している。電極3a、bも同様に接続のために図の右側は端まで形成し、

左側は縁から後退している。

【0041】層4-1と層4-3は分極されており、分極の向きは互いに逆方向である。層4-2は分極されていない。

【0042】このように各電極を接続することにより、層4-1とその両面の電極1a、3aにより形成されるインピーダンスと、層4-3とその両面の電極1b、3bにより形成されるインピーダンスは電氣的に並列に接続されたことになる。よって、圧電素子全体の静電容量は各層の静電容量をたしあわせた値となる。また各層は重ね合わされているので、全体として所定の強度を保持できれば十分であるため、各層それぞれは薄い層で形成することができ、各層の静電容量を大きくすることができる。しかもさらにそれぞれが加算された静電容量となるため、同じ厚さを有する1層で構成された圧電素子より大きな静電容量を得ることができる。

【0043】図4は、図1～3に示した圧電素子を用いた加速度センサの断面図である。圧電素子100は、支持体7a、bにより長手方向の中央部を支持され、容器12の内部に収納されている。容器12はアルミナにより形成した。容器12の外部には、外部電極9a、b、cが設けられている。外部電極9a、b、cはNiの上に半田層を形成して作成した。外部電極9a、b、cは支持体7a、bを介してそれぞれ電極1a、2a、3bと接続されており、加速度により生じた電荷を容器12外部へ取り出すことができる。

【0044】図5は、支持体7aが圧電素子にとりつけられた状態（支持体7aはその取り付け端部のみを図示している）を示す図である。支持体7aには圧電素子との接触面に図示したように導電層8a、bが設けられている。導電層8a、bはそれぞれ圧電素子100の表面の電極1a、2aと接触して接続される。さらに、導電層8a、bは外部電極9a、bと電氣的に接続されており、外部へ電荷を取り出すことができる。導電層8と電極1a、2aとは導電性接着剤を用いて接着してもよい。

【0045】矩形状の圧電素子を用いることにより、加速度センサを実装する基板と平行な方向の加速度を検知する場合、圧電素子を実装基板にたてて略垂直に配置しなければならない。すなわち圧電素子100の電極面が実装基板に略垂直にならなければならない。矩形状の圧電素子の場合、圧電素子をたてて実装しても、加速度センサの高さが高くないため、小型の加速度センサが実現できる。

【0046】図6は加速度センサの動作原理を示す図である。加速度が上下方向に加わった場合、中央部が支持された圧電素子100は図のようにたわみ振動をする。このとき、3つの層のうち表面側の2つの層は一方は伸び、一方は縮むように歪みが生じる。本実施の形態では、層4-1が伸び、層4-3が縮み、この歪みにより

電荷が生じるが、層4-1と層4-3では分極方向が逆であるので、同じ極性の電荷を電極1a、b、電極2a、bおよび電極3a、bに得ることができる。層4-1および4-3に生じた電荷は加算されることになり、大きな電荷量を得ることができる。

【0047】このように圧電素子の表面と裏面は、歪みが大きくなるが、本実施の形態では、そこに、分極された圧電体層が設けられているため、感度も高くすることができた。

【0048】図7は加速度センサを用いた自己診断機能を有する場合の加速度検出装置のブロック図である。自己診断時には、電極2a、bを駆動用電極とし、電極1a、bを振動検出用電極とする。外部電極9bは、自己診断のための振動駆動用の駆動回路10aに接続されている。駆動回路10aからは駆動用の交流電圧が発生し、外部電極9b、cを介して、圧電素子の駆動用電極である電極2と電極3へ印加される。この交流電圧により層4-1、層4-3の内部には電界が生じる。電界は同じ方向に印加されるが、分極方向が異なるため、逆方向の歪みが生じ、圧電素子全体がたわみ振動をする。この振動により先に述べたように電荷が発生し、これを振動検出用電極である電極1a、bと電極3a、bで検出する。検出した電荷はインピーダンス変換回路10bに接続された外部電極9a、cへ入力される。インピーダンス変換回路10bは、一般にFETなどを用いて構成される。このインピーダンス変換回路10bからの出力電圧は、加速度検出回路、異常検出回路10cに入力され、ここで圧電素子に異常がないか判定される。一般に、異常検出回路10cはハイパスフィルタ、ローパスフィルタ、平滑回路、コンパレータなどで構成される。異常診断は発振器10aより入力された交流電圧に対して、あらかじめ定めた値に合致する電圧がインピーダンス変換回路10cから出力されているかで判定する。圧電素子に異常がある場合、異常検出回路は異常時の処理を行うように指示を出す。

【0049】駆動用電極部は積層されているため、各層は薄く、電界が大きくなるため、小さな振幅の交流電圧を発振回路から入力するのみで大きな振幅のたわみ振動を得ることができ、自己診断の精度が向上した。

【0050】また、駆動電極は圧電素子の長手方向へ全長にわたって形成されているため、圧電素子全体に歪みを生じさせることができる。その結果効率よく振動を起こすことができ、低電圧でありながら精度よく自己診断を行うことができた。

【0051】また、検出用電極部も積層されており、静電容量を大きくとることができ、インピーダンス変換回路に高抵抗を用いずとも低周波数領域まで高い感度で発振回路により誘起された振動を検出することができ、広い周波数範囲で精度の高い自己診断を行うことができた。

【0052】通常の加速度検出時においても、圧電素子100は、薄い層が積層され、形成されたコンデンサが並列に接続されているため、圧電素子全体の静電容量は大きくなる。また、圧電素子全体の機械的強度を損なうことなく各層を薄くすることができる。このため、低周波の加速度においても十分高い感度を得ることができ、高抵抗を用いることなく測定することができた。

【0053】通常の加速度検出時には、駆動用電極2a、bと振動検出用電極1a、bをとともに加速度検出のための電極として用い、インピーダンス変換回路に接続することによりより高い感度を得ることもできた。

【0054】層4-2は分極されていない層であるが、この層を設けることにより、層4-1および層4-3を極めて薄くしても圧電素子全体の強度を維持することができた。また、層4-2は静電容量を大きくする効果をも有した。

【0055】なお、圧電素子の方法は中心支持に限るものではなく、片端を支持した片持ち梁でもよく、または両端を支持した両持ち梁であってもよい。

【0056】また、自己診断回路および、インピーダンス変換回路は、図7に限るものではない。

【0057】また、分極の方向は図示した方向に限るものではなく互いに逆向きであればよい。

【0058】また、電極1a、bを駆動用電極、電極2a、bを検出用電極としてもよい。

【0059】また、層の厚さは、すべて同じでなくともよいが、層4-1と層4-3はほぼ同じ厚さであることが好ましい。層4-2は他の層より厚くてもよく、この場合、耐衝撃性の向上に寄与する。

【0060】(実施の形態2)図8は本発明の他の実施の形態における加速度センサの圧電素子の断面図である。圧電素子102は矩形状で、3つの層14-1、2、3を積層した構造を有しており、層14-1、3は分極されており、分極方向は同方向である。また、図9は圧電素子の電極の平面図である。電極11a、bと電極12a、bは圧電素子の上面と底面に長手方向に平行に設けられており、端面でそれぞれ接続されている。電極13a、bは、圧電素子の内部に電極11、12の接続部となる端面付近をのぞいてほぼ全面に設けられており、電極11、12の接続部と反対側で接続されている。層14-1が形成するコンデンサと、層14-3が形成するコンデンサは、並列に接続されており、静電容量はそれぞれの層の容量の加算となり、大きな静電容量を得ることができる。

【0061】層14-1、2、3はいずれもジルコン酸鉛を主成分とするセラミックスを用いて作製した。電極は銀を用いた。

【0062】層14-1と層14-3の分極方向は同方向であるが、電極の接続方向が図2と異なるため、たわみ振動をしても電極11aと電極11bには同極性の電

荷が発生して、加速度を検出することができる。

【0063】層14-2は、圧電素子102の強度を強くし、対衝撃性を高める役割を果たす。

【0064】実施の形態1では、真ん中の未分極層4-2と電極3a、電極1bで形成されるインピーダンスは、圧電層4-1と電極1a、電極3aで形成されるインピーダンスおよび、圧電層4-3と電極1b、電極3bで形成されるインピーダンス電氣的に並列に接続されており、この未分極層4-2が有する静電容量も、素子全体の静電容量に含まれる。しかしながら、この未分極層4-2は加速度が加わっても電荷は発生しないので、この層の静電容量は出力電圧を低下させ、結果として感度の低下を招く。しかしながら、本実施の形態2における層14-2はその対向する面が電極13a、13bで挟まれているため、この層の静電容量は層14-1、層14-2の静電容量に加えられないので感度は高くなる。

【0065】自己診断する場合には、電極11を振動検出用電極、電極12を駆動用電極として、図7と同様にして行うことができる。

【0066】電極からの電荷の取り出しのための導電層も支持体を通して図5と同様に行うことができる。

【0067】(実施の形態3) 図10に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図11に圧電素子の各層の電極の平面図を示す。

【0068】圧電素子200は矩形形状で、層24-1、2、3の3つの層を積層した構造を有す。層24-1、2は互いに逆向きに分極されている。

【0069】電極21a、22aは圧電素子200の上面に、電極23aは層24-1と層24-2の間に、電極21b、22bは層24-2と層24-3の間に、電極23bは下面に設けられている。電極21a、22aは、圧電素子の長手方向の中心から略対称に左右に分かれて形成されている。電極21b、22bも電極21a、22aとはほぼ同じ形状をしており、圧電素子200の長辺側の端面で電極21aと21b、電極22aと22bは接続されている。また、電極23a、bは圧電素子の電極21、22の接続部をのぞくほぼ全面に設けられており、互いに短辺側の側面で接続されている。

【0070】このような電極の接続により、層24-1が形成するコンデンサと、層24-3が形成するコンデンサは並列接続されるため、圧電素子の静電容量を大きくすることができる。また、積層構造にし、さらに分極していない層24-2により耐衝撃性を高くすることができるため、各層を薄くでき静電容量を大きくすることができた。

【0071】電極21は、図11に示すように図の上部が中央より左に張り出し、下部が右にへこんだ形状をしており、電極22はこの逆である。このような屈曲した形状は1つの支持体で電極からの電荷の取り出しを容易

にするためである。圧電素子200は、図4と同様に長手方向の中心を支持される。図12は、支持体の電極面と接触する面の導電層の構成を示す図である。支持体27には導電層28a、28bが設けられており、それぞれ電極21a、22aと接触して、電氣的接続を取る。導電層28a、bは図4と同様に容器の外部電極と接続されている。これによって、電極21a、22aに生じた電荷を外部に取り出すことができる。

【0072】この電極構造では、電極を分離するためのスペースを支持部の位置のみに設けるだけで済み、他の圧電素子面には全幅にわたって電極を形成することができるため、静電容量を面積に対して効率よく大きくすることができる。

【0073】加速度を受けた場合の加速度の検出動作は、図6と同様である。

【0074】また、自己診断時には、電極21を振動検出用電極、電極22を駆動用電極として図7と同様の回路を用いて行うことができる。電極22に発振回路により交流電圧を印加すると、圧電素子200全体が中心を支持された形態でたわみ振動を起こす。この振動を振動検出用電極で検出して、その出力電圧から故障診断をする。振動検出部、駆動部ともに積層構造であるので静電容量が高く、低い周波数においても自己診断を行うことができる。

【0075】層を構成する材料、電極を構成する材料は実施の形態1と同様とした。

【0076】なお、電極21を駆動用電極、電極22を振動検出用電極として自己診断を行ってもよい。

【0077】また、電極の長辺側で電極21aとbの接続をせず、図13に示すように長辺の縁に沿って電極21の接続部21cを設け、短辺の縁で電極21aと21bおよび電極22aと22bを接続してもよい。

【0078】(実施の形態4) 図14に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図15に圧電素子の各層の電極の平面図を示す。

【0079】圧電素子300は中心に貫通孔35を有する円盤形で、層34-1、2、3の3つの層を積層した構造を有す。層34-1、2は互いに逆向きに分極されている。

【0080】電極31a、32aは圧電素子300の上面に、電極33aは層34-1と層34-2の間に、電極31b、32bは層34-2と層34-3の間に、電極33bは下面に設けられている。電極31a、32aは、圧電素子の中心と同心円上に形成されている。電極31b、32bも電極31a、32aとはほぼ同じ形状をしている。電極31aと電極31bは圧電素子300の内周部の端面で接続されている。また、電極32aと32bは圧電素子300の外周部の端面で接続されている。また、電極33a、bは圧電素子の電極31、32の接続部をのぞくほぼ全面に設けられており、互いに外

周部の側面で接続されている。このような電極の接続により、層34-1が形成するコンデンサと、層34-3が形成するコンデンサとは並列接続されるため、圧電素子の静電容量を大きくすることができる。また、積層構造にし、さらに分極していない層34-2により耐衝撃性を高くすることができるため、各層を薄くでき静電容量を大きくすることができた。層、電極を構成する材料は実施の形態1と同様とした。

【0081】図16は圧電素子300を用いた加速度センサの断面図である。圧電素子300は貫通孔35を突き抜け、圧電素子300の両面を押さえる支持体37で中心部を支持されている。検出原理は図6と同様であり、圧電素子は、図の上下方向の加速度を受けた場合、中心を支持されており周辺部がたわみ振動を起こす。このとき生じた歪みが電荷に変わることにより、加速度を検出できる。層34-1と層34-3が互いに逆方向に分極してあるため、各層の互いに接続された電極には同極性の電荷が発生する。

【0082】電極32aおよび電極33cは支持体37に設けた導電層（図では示されていない）と接触して電氣的に接続され、さらに導電層8が外部電極39a、cに接続されることにより、外部に電荷を取り出す。電極33bは、ワイヤリング（図示していない）により外部電極39bに接続した。

【0083】外周部の電極とのワイヤリングなどの手段を用いない方法としては、圧電素子の表面に設ける電極31a、bを他の形状に変えることがある。図17は、圧電素子の表面の他の電極構成の平面図である。電極21aの一部に切り欠きを設け、電極32aの中心部への接続部32cを設け、他の電極構成は図15と同様とした。接続部32cを圧電素子の中心部までのぼすことにより、支持体37に導電層を設け、導電層と接続部32cを導通させることによりワイヤリングなどの手段を用いず外部電極39bと電氣的接続を取ることができる。電極形状は、複雑になるが、ワイヤリングなどの手段がいらないため、加速度センサの製作が容易で、小型化も可能になる。

【0084】自己診断は、図7の方法と同様に行うことができる。自己診断の時には、電極32を駆動用電極とし電極33との間に発振回路から交流電圧を印加して、圧電素子全体をたわみ振動させる。このときの振動を、電極32を振動検出電極として電圧に変換して、故障診断を行う。薄い層の積層構造であるため、静電容量が大きく、低周波でも精度よく自己診断できた。

【0085】なお、圧電素子に貫通孔を設けなくとも加速度センサを構成することができる。すなわち、図18は圧電素子に貫通孔を設けない場合の電極の平面図である。電極以外の圧電素子の層構造などは図14と同様である。電極31は、圧電素子の中心に円形に、電極32は同心円状にドーナツ型に設けられている。電極32a

は層34-2と層34-3の間に設けられた電極32bと外周部の縁の接続部32cで接続されている。電極31aには、幅の狭い接続部31dが外周部へ伸ばされている。層34-2と層34-3の間に形成された電極31bにも同様に接続部31cが設けられており、接続部31cと接続部31dが外周部で電氣的に接続され、電極31aとbが導通される。層34-1と層34-2の間に設けた電極33aと圧電素子の下面に形成された電極33bは、圧電素子の外周部の縁に設けた接続部33cにより接続される。また、電極32と中心を支持するための支持体から導通を取るための、図17と同様に接続部32dを設けた。

【0086】また、電極32を検出用電極、電極31を駆動用電極としてもよい。

【0087】（実施の形態5）図19に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図20にその圧電素子の各層の電極の平面図を、そして、図21にその実施の形態の加速度センサの支持体の平面図を示す。

【0088】一方の電極1aが圧電素子100の長辺に沿って素子の中央部に設けられ、他方の電極2aは周辺部に設けられる。この周辺部の電極2aは一端に設けた接続部10で互いに接続されている。この構造で、内側の電極1aを駆動電極にすると、駆動電極が、長辺に沿って全長にわたって設けられ、かつ中央部に位置するため、他の電極構造に比べて、素子全体に均一な駆動を起こすことができ、実際に加速度が加わった状態により近い状態で自己診断を行うことができる。電極からの外部電極への引き出しは、支持体7aに設けた導電層8a、8bを通して行うことができる。中央部の電極1aと接続する場合は、周辺部の電極2aと短絡しないように、電極上に絶縁層9を設けておけばよい。絶縁層としては、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、ポリイミド膜などでよい。あるいは、エポキシ樹脂系、シリコン樹脂系等の絶縁性接着剤などを塗布して形成しても良い。

【0089】なお、電極面の接続部を設けなくとも、外部電極への引き出しによって周辺部の電極を接続しても良い。

【0090】（実施の形態6）図22に本発明の実施の形態である加速度センサに用いる圧電素子の外観図を示す。

【0091】圧電素子100は、層4-1、層4-2、層4-3からなる3つの層を積層した構造で矩形状をしている。いずれの層もジルコン酸チタン酸鉛を主成分とするシート状のセラミックスからなる。各層の厚さは、層4-1、層4-3は、 $50\mu\text{m}$ 、層4-2は $100\mu\text{m}$ とした。層の厚さとして $10\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ 程度が好適であり、全体厚みとしては、 $150\mu\text{m}$ ～ $350\mu\text{m}$ が好適である。シート状のセラミックスを積層して焼成するため、圧電セラミックスの板を貼り合わせる場合に比

べて、各層を薄くすることができ、各層の静電容量が大きくなる。層4-1の上面には2つの電極1aと電極2aが分割して形成されており、電極1aは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極2aは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成される。それぞれ両端の駆動用電極は、前記圧電素子の長辺に沿って形成された接続部により接続される。また図では示されないが層4-3の底面には電極3bが形成されている。電極1aと電極2bは端面の一部にも連続して形成されている。焼成する温度により内部電極、表面電極は銀パラジウムにより形成し、端面電極は銀にて形成した。図23は圧電素子100の長手方向の断面図である。また、図24は各層の電極の平面図である。層4-2と層4-3の間に形成された電極1bと電極2bは層4-1の表面に設けられた電極1a、2aとほぼ同じ形状で、電極1bは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極2bは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に前記圧電素子の長辺の中心を介して接続される構成である。図23には示されていないが、電極1aは層4-2と層4-3の間に形成された電極1bと端面で接続され、電極2aは内部電極2bと接続されている。同様に底面の電極3bと層4-1と層4-2の間に形成された電極3aとは電極1とは反対側で接続されている。電極3aは電極1aと1b、あるいは電極2aと2bの接続部との短絡を防ぐため、端からわずかに後退している。

【0092】層4-1と層4-3は分極されており、分極の向きは互いに逆方向である。層4-2は、分極されていない。

【0093】このように各電極を接続することにより、層4-1とその両面の電極で形成されるインピーダンスと、層4-3とその両面の電極で形成されるインピーダンスは電気的には並列に接続されたことになる。よって、圧電素子全体の静電容量は各層の静電容量をたしあわせた値となる。各層は重ね合わされているので、全体として所定の強度を保持できれば十分であり、その結果、各層それぞれは薄い層で形成することができ、各層の静電容量を大きくすることができる。しかもさらにそれぞれが加算された静電容量となるため、同じ厚さを有する1層で構成された圧電素子より大きな静電容量を得ることができる。

【0094】図25(a)は、図22~24に示した圧電素子を用いた加速度センサの外観図であり、図25

(b)はその断面図である。圧電素子100は、支持体7a、bにより長手方向の中央部を支持され、容器12の内部に収納されている。容器12はアルミナにより形成した。容器12の外には、外部電極9a、b、cが設けられている。外部電極9a、b、cはNiの上に半田層を形成して作成した。外部電極9a、b、cは支持体7a、bを介して導電層8a、b、cによりそれぞれ

電極1a、2a、3bと接続されており、加速度により生じた電荷を容器12外部へ取り出すことができる。

【0095】図26は支持体7aの導電層を示す図である。支持体7aには圧電素子との接触面には図示したように導電層8a、bが設けてある。導電層8a、bはそれぞれ圧電素子100の表面の電極1a、2aと接触して接続される。さらに、導電層8a、bは外部電極9a、bと電気的に接続されており、外部へ電荷を取り出すことができる。導電層8と電極1a、2aとは導電性接着剤を用いて接着してもよい。

【0096】矩形状の圧電素子を用いることにより、図5で説明したように、圧電素子をたてて実装しても、加速度センサの高さが高くないため、小型の加速度センサが実現できる。

【0097】また、加速度が上下方向に加わった場合、図6で説明したように、大きな電荷量を得ることができる。

【0098】このように圧電素子の表面と裏面は、歪みが大きくなるが、本実施の形態では、そこに、分極された圧電体層が設けられているため、感度も高くすることができた。

【0099】また、圧電素子は、中心保持の近傍で、歪みが大きく、端の方の歪みが小さくなるが、本実施の形態では、中心保持の近傍の部分に振動検出用の電極が設けられているため、感度も高くすることができた。

【0100】図27は加速度センサを用いた自己診断機能を有する場合の加速度検出装置のブロック図である。自己診断時には、電極2a、bを駆動用電極とし、電極1a、bを振動検出用電極とする。電極3a、bは共通電極とし、外部電極9cを通して接地される。外部電極9bは、自己診断のための振動駆動用の駆動回路10aに接続されている。駆動回路10aからは駆動用の交流電圧が発生し、外部電極9b、cを介して、圧電素子の駆動用電極である電極2と電極3へ印加される。この交流電圧により層4-1、層4-3の内部には電界が生じる。電界は同じ方向に印加されるが、分極方向が異なるため、逆方向の歪みが生じ、圧電素子全体がたわみ振動をする。この振動により先に述べたように電荷が発生し、これを振動検出用電極である電極1a、bと電極3a、bで検出する。検出した電荷はインピーダンス変換回路10bに接続された外部電極9a、cへ入力される。インピーダンス変換回路10bは、一般にFETなどを用いて構成される。このインピーダンス変換回路10bからの出力電圧は、加速度検出回路、異常検出回路10cに入力され、ここで圧電素子に異常がないか判定される。一般に、異常検出回路10cはハイパスフィルタ、ローパスフィルタ、平滑回路、コンパレータなどで構成される。異常診断は発振器10aより入力された交流電圧に対して、あらかじめ定めた値に合致する電圧がインピーダンス変換回路10cから出力されているかで

判定する。圧電素子に異常がある場合、異常検出回路は異常時の処理を行うように指示を出す。

【0101】駆動用電極部は積層されているため、各層は薄く、電界が大きくなるため、小さな振幅の交流電圧を発振回路から入力するのみで大きな振幅のたわみ振動を得ることができ、自己診断の精度が向上した。

【0102】また、検出用電極部も積層されており、静電容量を大きくとることができ、インピーダンス変換回路に高抵抗を用いずとも低周波数領域まで高い感度で発振回路により誘起された振動を検出することができ、広い周波数範囲で精度の高い自己診断を行うことができた。

【0103】通常の加速度検出時においても、圧電素子100は、薄い層が積層され、各層が並列に接続されているため、圧電素子全体の静電容量は大きくなる。また、圧電素子全体の機械的強度を損なうことなく検出素子となる各層を薄くすることができる。このため、低周波の加速度においても十分高い感度を得ることができ、高抵抗を用いることなく測定することができた。

【0104】通常の加速度検出時には、駆動用電極2a、bと振動検出用電極1a、bをともに加速度検出のための電極として用い、インピーダンス変換回路に接続することによりより高い感度を得ることもできた。

【0105】層4-2は分極されていない層であるが、この層を設けることにより、層4-1および層4-3を極めて薄くしても圧電素子全体の強度を維持することができた。また、層4-2は静電容量を大きくする効果をも有した。

【0106】次に、実施の形態1の加速度センサに用いる圧電素子の電極(図3参照)を用いて作製した加速度センサー(層4-1、層4-3を $50\mu\text{m}$ 、層4-2を $100\mu\text{m}$ とし、圧電素子サイズを $1.3\text{mm}\times 8.0\text{mm}\times 0.2\text{mm}$ とし、振動検出電極及び駆動電極のサイズを $0.5\text{mm}\times 7.8\text{mm}$ とした)と、本実施の形態6の圧電素子の電極(図24参照)を用いて作成した加速度センサー(層4-1、層4-3を $50\mu\text{m}$ とし、層4-2を $100\mu\text{m}$ とし、圧電素子サイズ $1.3\text{mm}\times 8.0\text{mm}\times 0.2\text{mm}$ とし、検出電極を幅 1.0mm で、長手方向に支持点を中心に長さを 2mm 、 3mm 、 4mm 、 5mm 、 6mm とした。駆動電極は 0.2mm 幅の絶縁部を設けて残りの部分に形成した)とを比較する。

【0107】それら作製した加速度センサの、面積、感度、容量と感度の積等を(表1)に示す。

【0108】

【表1】

	振動検出部の電極幅(mm)	振動検出部の電極長さ(mm)	面積 (mm^2)		感度 (mV/G) (振動検出部)	量×感度 (μV)
			振動検出部	自己診断部		
実施形態1の加速度センサ	0.5	7.8	7.8×0.5	3.9	1.2	3.2
実施形態6の加速度センサ	1.0	NO.1 2.0	2.0	7.5	3.5	4.9
		NO.2 3.0	3.0	6.3	2.7	5.7
		NO.3 4.0	4.0	5.0	2.5	7.0
		NO.4 5.0	5.0	3.9	2.3	7.3
		NO.5 6.0	6.0	2.7	2.0	7.5

【0109】感度は、同じ電荷の発生量であっても、容量が大きいと小さくなる。実施の形態1の加速度センサと本実施の形態6の加速度センサの振動検出部がほぼ同じ容量のものを、表1より比較した場合、感度が2倍のセンサが得られた。例えば、実施の形態1のものと、実施の形態6のNO.3とを比較すればこのことがわかる。また、振動検出部電極の長さを各種変えたいずれのセンサでも、感度が大幅に向上した。容量と感度の積が電荷の発生量を表すが、本実施の形態6の加速度センサでは、電荷の発生は実施の形態1のものと比較して、1.5倍以上となった。すなわち、振動検出電極を支持の近傍に配置することで、感度が向上し、ノイズの低減はもとより、1段のアンプで増幅可能となり、回路が簡単になる効果を有した。

【0110】なお、自己診断回路および、インピーダンス変換回路は、図27のものに限るものではない。

【0111】また、分極の方向は図示した方向に限るも

のではなく互いに逆向きであればよい。

【0112】(実施の形態7)図28(a)は本発明の他の実施の形態における加速度センサの圧電素子の断面図であり、図28(b)はその斜視図である。

【0113】圧電素子102は矩形状で、3つの層14-1、2、3を積層した構造を有しており、層14-1、3は分極されており、分極方向は同方向である。また、図29は圧電素子の電極の平面図である。層14-1の上面には2つの電極11aと電極12aが分割して形成されており、電極11aは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極12aは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成され、さらにそれらは前記圧電素子の長辺の中心付近の接続部を介して互いに接続される。電極13a、bは、圧電素子の内部に電極11、12の接続部となる端面付近をのぞいてほぼ全面に設けられており、電極11、12の接続部と反対側で接続されている。層14-1と層14-3は、並

列に接続されており、静電容量はそれぞれの層の容量の加算となり、大きな静電容量を得ることができる。

【0114】層14-1、2、3はいずれもジルコン酸鉛を主成分とするセラミクスを用いて作製した。電極は銀パラジウムを用いた。層14-1と層14-3の分極方向は同方向であるが、電極の接続方向が図2と異なるため、たわみ振動をしても電極11aと電極11bには同極性の電荷が発生して、加速度を検出することができる。

【0115】層14-2は、圧電素子102の強度を強くし、対衝撃性を高める役割を果たしている。

【0116】実施の形態1では、真ん中の未分極層4-2と電極3a、電極1bで形成されるインピーダンスは、圧電層4-1と電極1a、電極3aで形成されるインピーダンスおよび、圧電層4-3と電極1b、電極3bで形成されるインピーダンス電氣的に並列に接続されており、この未分極層4-2が有する静電容量も、素子全体の静電容量に含まれる。しかしながら、この未分極層4-2は加速度が加わっても電荷は発生しないので、この層の静電容量は出力電圧を低下させ、結果として感度の低下を招く。しかしながら、本実施の形態7における層14-2はその対向する面が電極13a、13bで挟まれているため、この層の静電容量は層14-1、層14-2の静電容量に加えられないので感度は高くなる。

【0117】自己診断する場合には、電極11を振動検出用電極、電極12を駆動用電極として、図7と同様にして行うことができる。

【0118】電極からの電荷取り出しのための導電層も支持体を通して図5と同様に行うことができる。

【0119】本実施の形態の図29で示される圧電素子の電極を用いて、層4-1、層4-3を50 μ m、層4-2を100 μ m、圧電素子サイズ1.3mm \times 8.0mm \times 0.2mmの加速度センサを作製した。本実施の形態の振動検出電極は、実施の形態6と同様に、幅1.0mmで長さを変えて形成し、自己診断のための駆動電極は、残りの部分に形成した。作製した加速度センサの40Hzでの感度と1V入力時の自己診断感度の出力は、実施の形態1に比べて25%高くなり、未分極層の静電容量を素子の容量に加えない効果を確認できた。また、振動検出電極を支持の近傍に配置することで、感度が向上し、ノイズの低減はもとより、1段のアンプで増幅可能となり、回路が簡単になる効果を有した。

【0120】(実施の形態8) 図30に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図31に圧電素子の各層の電極の平面図を示す。

【0121】圧電素子200は矩形状で、層24-1、2、3の3つの層を積層した構造を有す。層24-1、2は互いに逆向きに分極されている。電極21a、22aは圧電素子200の上面に、電極23aは層24-1

と層24-2の間に、電極21b、22bは層24-2と層24-3の間に、電極23bは下面に設けられている。層4-1の上面には2つの電極21aと電極22aが分割して形成されており、電極21aは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極22aは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成され、それらは前記圧電素子の長辺の中心付近の接続部を介して互いに接続される。電極21bは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成されるとともに、圧電層の幅いっぱい形成されている。電極22bは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成されている。圧電素子200の長辺側の端面で電極21aと21b、電極22aと22bは接続されている。また、電極23a、bは圧電素子の電極21、22の接続部をのぞくほぼ全面に設けられており、互いに反対側の長辺側の端面で接続されている。

【0122】このような電極の接続により、層24-1が形成するコンデンサと層24-3が形成するコンデンサは並列接続されるため、圧電素子の静電容量を大きくすることができる。また、電極21bが支持の中心部近傍に構成されるとともに、圧電層の幅いっぱい形成されているので、発生する電荷量が大きくなり、感度がさらに向上し、ノイズの低減はもとより、1段のアンプで増幅可能となり、回路が簡単になった。また、積層構造にし、さらに分極していない層24-2により耐衝撃性を高くすることができるため、各層を薄くでき静電容量を大きくすることができた。

【0123】圧電素子200は、図4と同様に長手方向の中心を支持され、図5と同様に支持体の電極面と接触する面の導電層の構成されている。

【0124】加速度を受けた場合の加速度の検出動作は、図6と同様である。

【0125】また、自己診断時には、電極21を振動検出用電極、電極22を駆動用電極として図7と同様の回路を用いて行うことができる。

【0126】各圧電層を構成する材料、電極を構成する材料および素子サイズは実施の形態1と同様とした。

【0127】(実施の形態9) 図32に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図33に圧電素子の各層の電極の平面図を示す。

【0128】圧電素子300は矩形状で、層34-1、2、3の3つの層を積層した構造を有す。層34-1、2は互いに逆向きに分極されている。電極31a、32aは圧電素子300の上面に、電極33aは層34-1と層34-2の間に、電極31b、32bは層34-2と層34-3の間に、電極33bは下面に設けられている。層4-1の上面には2つの電極31aと電極32aが分割して形成されており、電極31aは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極32aは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成され

るとともに、それぞれ両端の駆動用電極は、前記圧電素子の長辺に沿って形成された接続部分で互いに接続されている。電極31aと電極32aは所定の間隔離れて形成される。電極31bは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極32bは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成されている。圧電素子300の長辺側の端面で電極31aと31b、電極32aと32bは接続されている。また、電極33a、bは圧電素子の電極31、32の接続部をのぞくほぼ全面に設けられており、互いに反対側の長辺側の端面で接続されている。

【0129】このように、振動検出電極31と自己診断電極32との間を所定間隔開けることで、任意に振動検出電極と自己診断電極の面積の比を変えることができ、持ってと適切な静電容量を実現でき、システムの回路設計の自由度を上げることができる。

【0130】(実施の形態10) 図34に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図35に圧電素子の各層の電極の平面図を示す。

【0131】圧電素子400は矩形状で、層44-1、2、3の3つの層を積層した構造を有す。層44-1、2は互いに逆向きに分極されている。電極41a、42aは圧電素子400の上面に、電極43aは層44-1と層44-2の間に、電極41b、42bは層44-2と層44-3の間に、電極43bは下面に設けられている。層4-1の上面には2つの電極41aと電極42aが分割して形成されており、電極41aは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極42aは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成されている。

【0132】さらに、電極42a、42bの外側に電極のない部分が形成される。電極41bは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極42bは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成されている。圧電素子400の長辺側の端面で電極41aと41b、電極42aと42bは接続されている。また、電極43a、bは圧電素子の電極41、42の接続部をのぞくほぼ全面に設けられており、互いに反対側の長辺側の端面で接続されている。

【0133】また、電極42a、42bの外側に電極のない部分を形成することによって、圧電素子の全長で決まる共振周波数が、極端に高くなることなく、所望の共振周波数を得ることが出来、しかも任意に自己診断検出電極の面積の比を変えることが出来、システムの回路設計の自由度を上げることが出来る。

【0134】(実施の形態11) 図36に本発明の他の実施の形態の加速度センサの圧電素子の外観図を、図37に圧電素子の各層の電極の平面図を示す。

【0135】圧電素子500は矩形状で、層54-1、2、3の3つの層を積層した構造を有す。層54-1、

2は互いに逆向きに分極されている。電極51a、52aは圧電素子500の上面に、電極54aは層54-1と層54-2の間に、電極51b、52bは層54-2と層54-3の間に、電極54bは下面に設けられている。層5-1の上面には2つの電極51aと電極52aが分割して形成されており、電極51aは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極52aは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成されるとともに、前記圧電素子の長辺に沿って形成された接続部で接続される。

【0136】電極(ダミー用部材)53aは、振動検出用電極と自己診断駆動用電極のいずれにも接続されないダミーの部材である。電極51bは振動検出用電極で支持の中心部近傍に構成され、電極52bは自己診断時の駆動用電極で長方形の長手方向の両端に形成されている。電極53b(ダミー用部材)は、振動検出用電極と自己診断駆動用電極のいずれにも接続されないダミーの電極である。圧電素子500の長辺側の端面で電極51aと51b、電極52aと52bは接続されている。また、電極54a、bは圧電素子の電極51、52の接続部をのぞくほぼ全面に設けられており、互いに反対側の長辺側の端面で接続されている。

【0137】加速度を受けた場合の加速度の検出動作は、図6と同様である。

【0138】また、自己診断時には、電極51を振動検出用電極、電極52を駆動用電極として図7と同様の回路を用いて行うことができる。

【0139】また、ダミーの電極を形成することで、圧電素子の電極の有無による焼成収縮の異なりから発生する、そりを防止することが出来る。

【0140】以上の全ての実施の形態において、圧電体各層はジルコン酸チタン酸鉛を主成分とするものに限るものではなく、チタン酸鉛、ジルコン酸鉛、ランタン酸鉛などを主成分とするものでもよい。また、電極は銀に限るものではなく、金、クロム、ニッケル、銅などあるいはこれらを積層しても、あるいはこれらの合金などを用いてもよい。容器の材質は、アルミナに限るものではなく金属や樹脂などを用いてもよい。外部電極は、銀一半田に限るものではなく、リフロー可能な材料、たとえば銀口ウなどでもよい。

【0141】なお、積層数は3層に限るものではなく、さらに積層数を増やした場合は、1層おきに電極を端面などで接続すればよい。

【0142】例えば、図40、図41、図42に示するような5層構造であってもよい。なお、図40は電極の分解平面図、図41は断面図、図42は外観図である。

【0143】また、以上全ての実施の形態において、加速度の検出回路は、インピーダンス変換方式に限られないことはいうまでもない。

【0144】以上により、ワイヤリングなどの電氣的接

続手段を用いずとも、高い静電容量を有し、低周波においても高い感度を維持し、低周波領域での自己診断も精度よく行うことができる小型の加速度センサが実現できた。

【0145】

【発明の効果】以上によると、加速度センサが積層構造を有し、高い静電容量をもつため、に外部に高抵抗体を基板に実装する必要がなく、基板に抵抗体を実装するための特別な部材等を容易する必要がなく、低周波まで高い感度を有し、自己診断を低周波領域まで精度よく行うことができ、電極からの電荷の取り出しが容易であり、かつ積層素子にそりのない小型の加速度センサを実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図2】本発明の実施の形態1の加速度センサに用いる圧電素子の断面図である。

【図3】本発明の実施の形態1の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図4】本発明の実施の形態1の加速度センサの断面図である。

【図5】本発明の実施の形態1の加速度センサの支持体の平面図である。

【図6】本発明の実施の形態1の加速度センサの動作原理を示す図である。

【図7】本発明の実施の形態1の加速度センサを用いた信号処理のブロック図である。

【図8】本発明の実施の形態2の加速度センサに用いる圧電素子の断面図である。

【図9】本発明の実施の形態2の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図10】本発明の実施の形態3の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図11】本発明の実施の形態3の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図12】本発明の実施の形態3の加速度センサの支持体の平面図である。

【図13】本発明の実施の形態3の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図14】本発明の実施の形態4の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図15】本発明の実施の形態4の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図16】本発明の実施の形態4の加速度センサに用いる圧電素子の断面図である。

【図17】本発明の実施の形態4の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図18】本発明の実施の形態4の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図19】本発明の別の実施の形態の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図20】図19図の実施の形態の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図21】図19図の実施の形態の加速度センサの支持体の平面図である。

【図22】本発明の実施の形態6の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図23】本発明の実施の形態6の加速度センサに用いる圧電素子の断面図である。

【図24】本発明の実施の形態6の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図25】(a) 本発明の実施の形態6の加速度センサの外観図である。

(b) 本発明の実施の形態6の加速度センサの断面図である。

【図26】本発明の実施の形態6の加速度センサの支持体の平面図である。

【図27】本発明の実施の形態6の加速度センサを用いた信号処理のブロック図である。

【図28】本発明の実施の形態7の加速度センサに用いる圧電素子の断面図である。

【図29】本発明の実施の形態7の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図30】本発明の実施の形態8の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図31】本発明の実施の形態8の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図32】本発明の実施の形態9の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図33】本発明の実施の形態9の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図34】本発明の実施の形態10の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図35】本発明の実施の形態10の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図36】本発明の実施の形態11の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【図37】本発明の実施の形態11の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図38】従来の加速度センサに用いる圧電素子の電極の平面図である。

【図39】加速度センサに用いる一般的な信号処理回路を示す図である。

【図40】本発明の一実施の形態の加速度センサに用いる圧電素子の電極の分解平面図である。

【図41】図40の本発明の実施の形態の加速度センサに用いる圧電素子の断面図である。

【図42】図40の本発明の実施の形態の加速度センサに用いる圧電素子の外観図である。

【符号の説明】

1、2、3、21、22、23、31、32、33 電
極
4、24、34 層
7、27、37 支持体

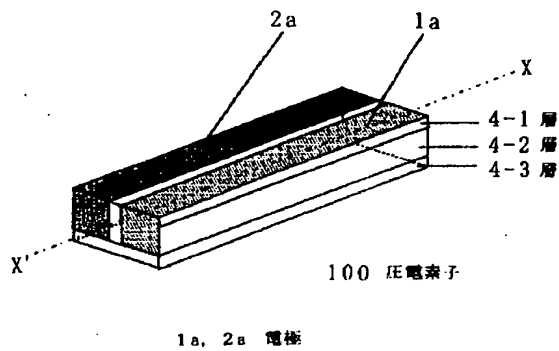
8 導電層

9 外部電極

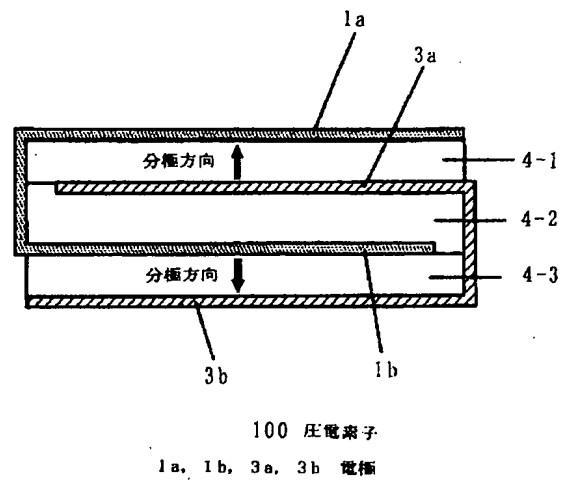
100、200、300 圧電素子

101、301 加速度センサ

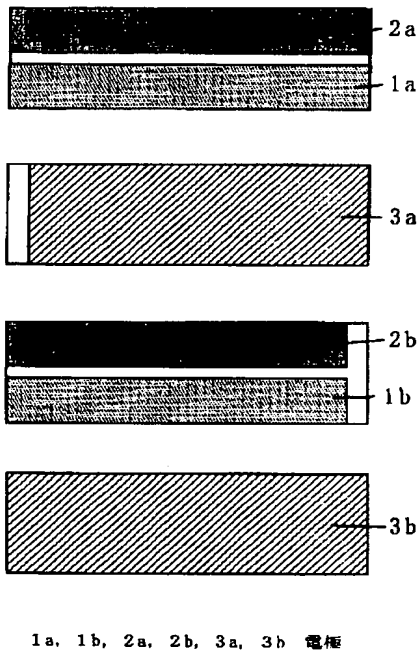
【図1】



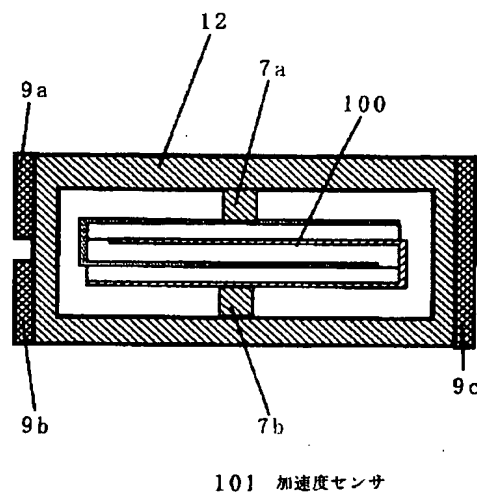
【図2】



【図3】



【図4】

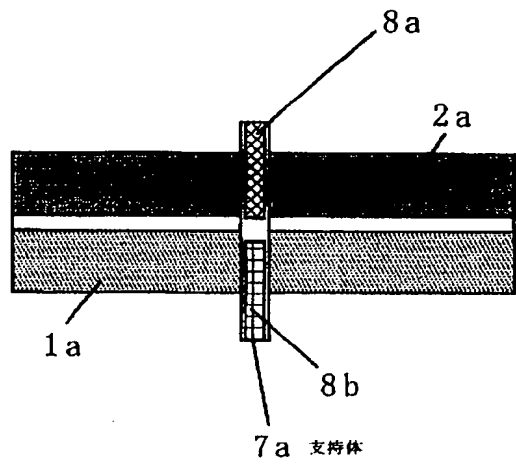


7a, 7b 支持体

9a, 9b, 9c 外部電極

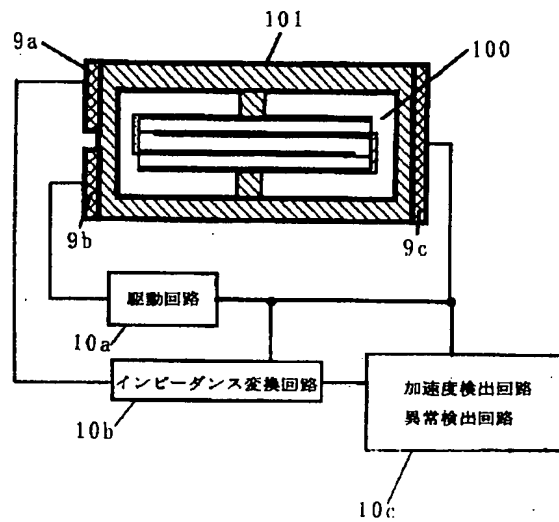
12 容量

【図5】

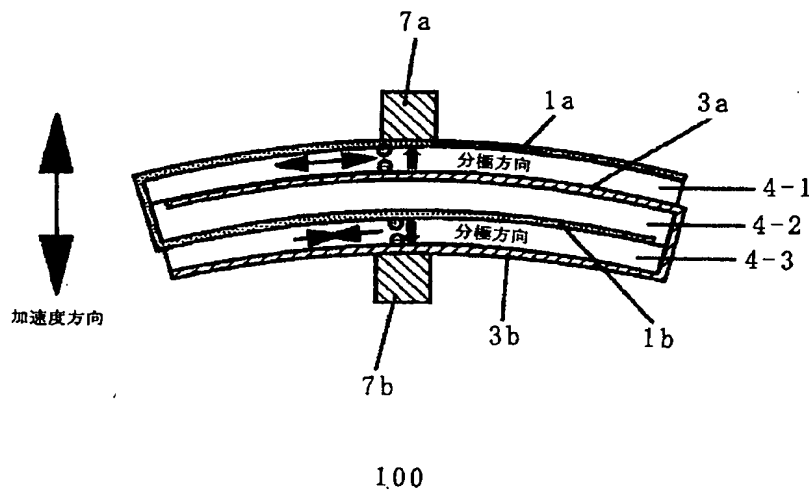


8a, 8b 導電層

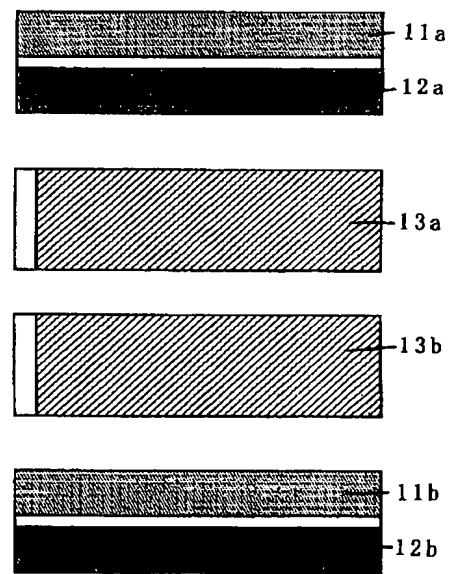
【図7】



【図6】

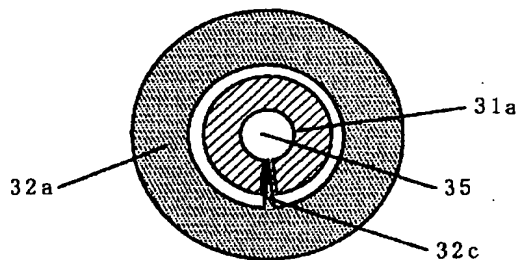


【図9】

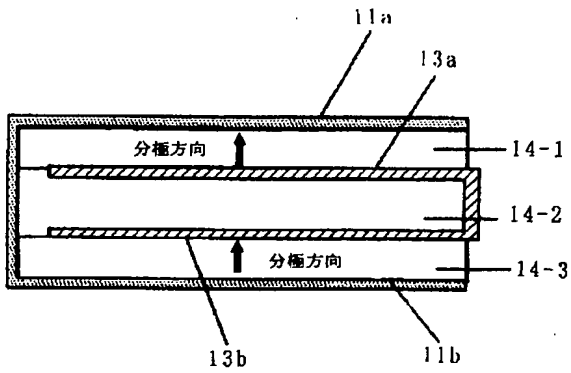


11a, 11b, 12a, 12b, 13a, 13b 電極

【図17】



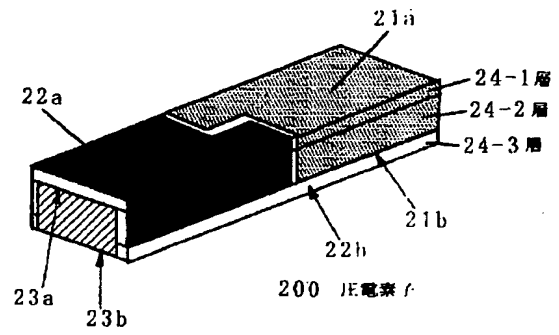
【図8】



102 圧電素子

11a, 11b, 13a, 13b 電極

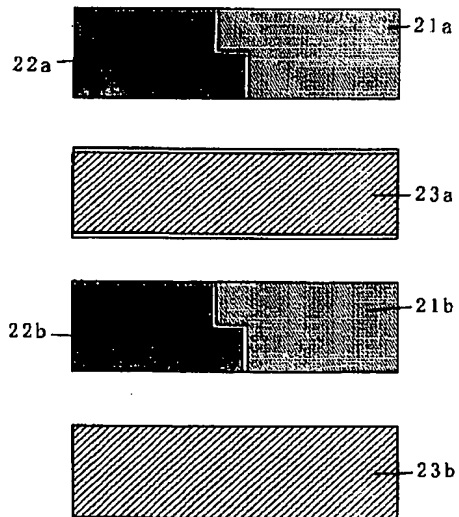
【図10】



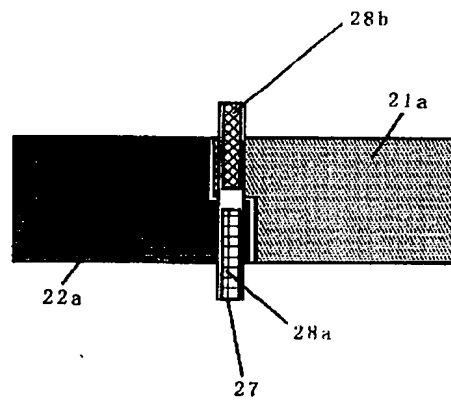
200 圧電素子

21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b 電極

【図11】



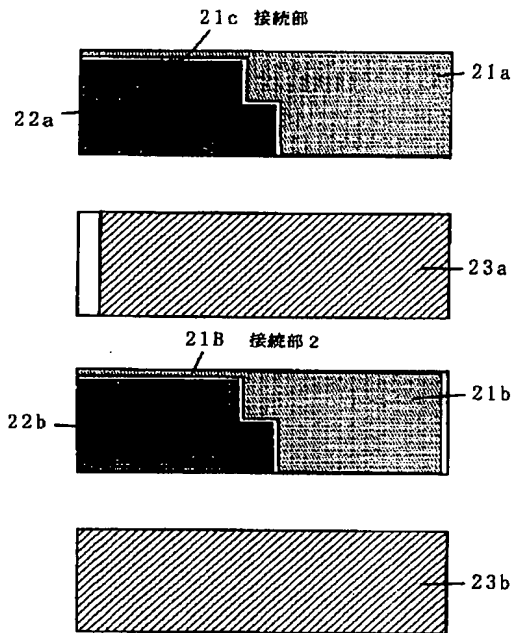
【図12】



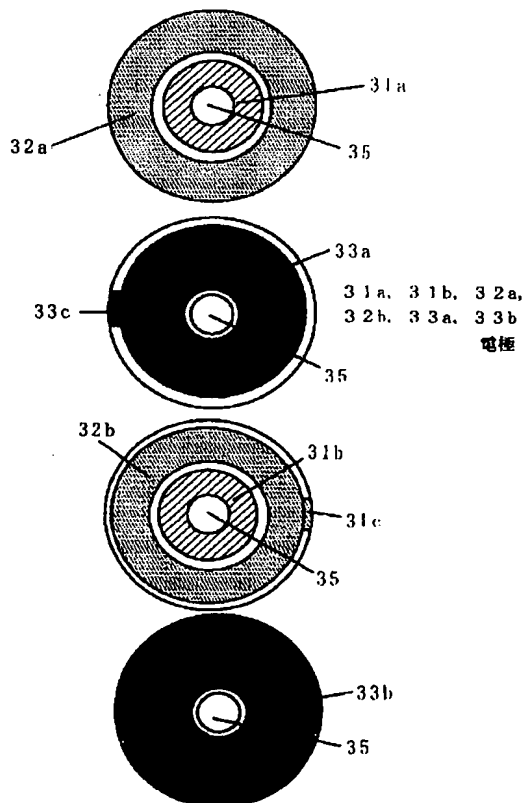
28a, 28b 導電層

27 支持体

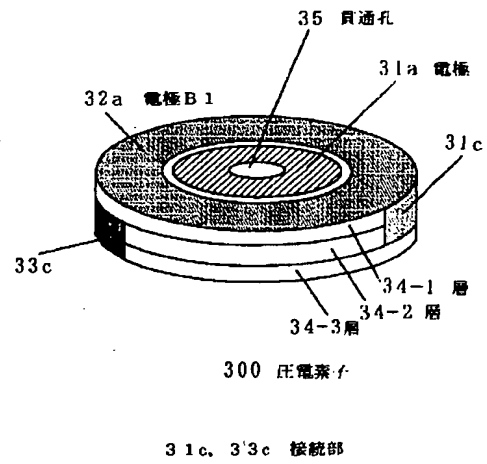
【図13】



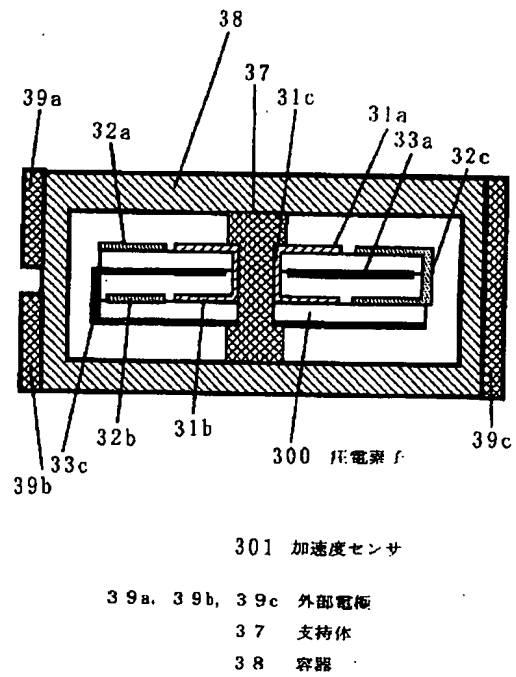
【図15】



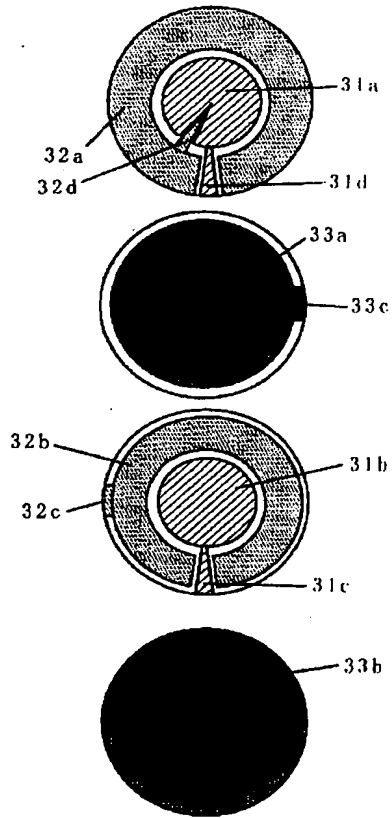
【図14】



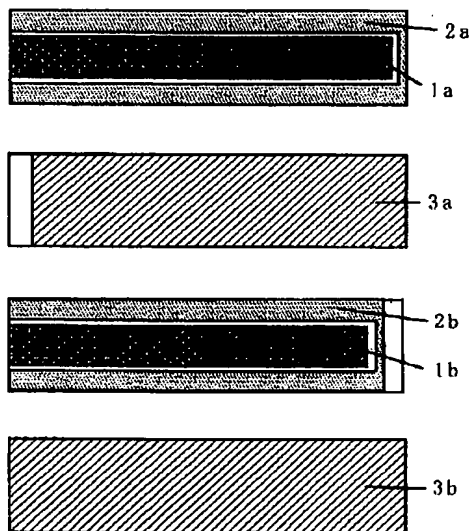
【図16】



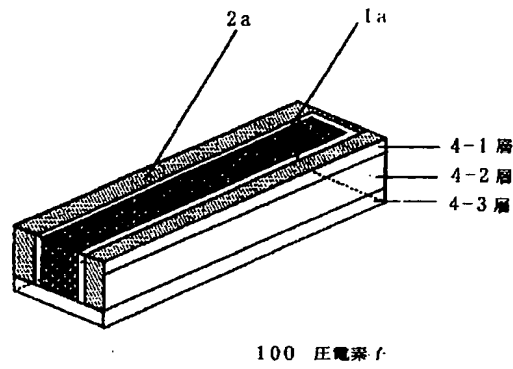
【図18】



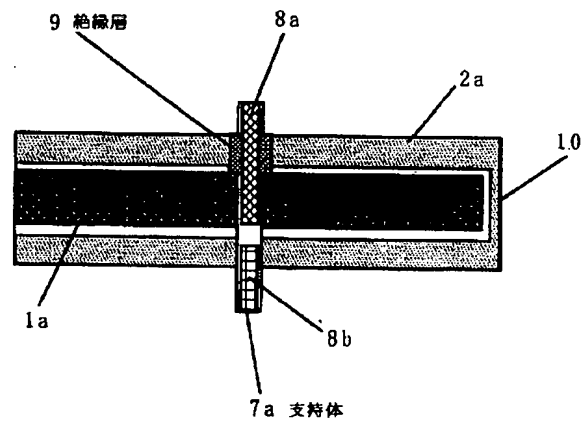
【図20】



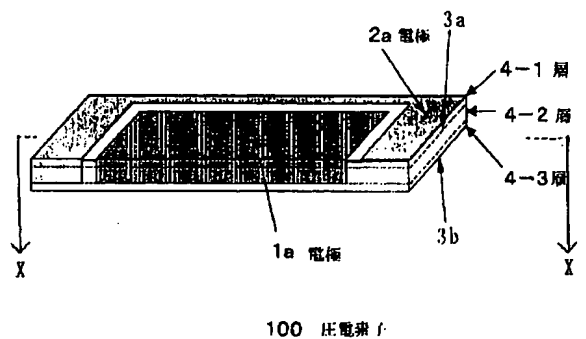
【図19】



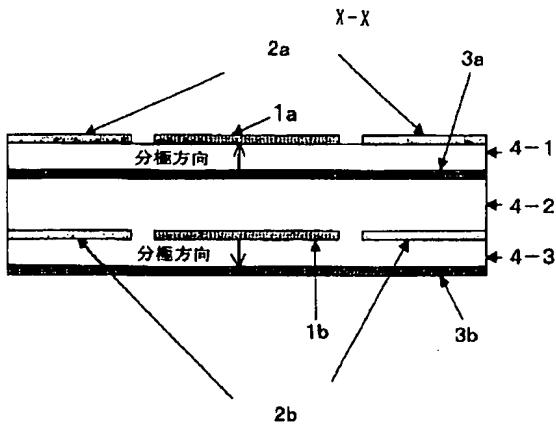
【図21】



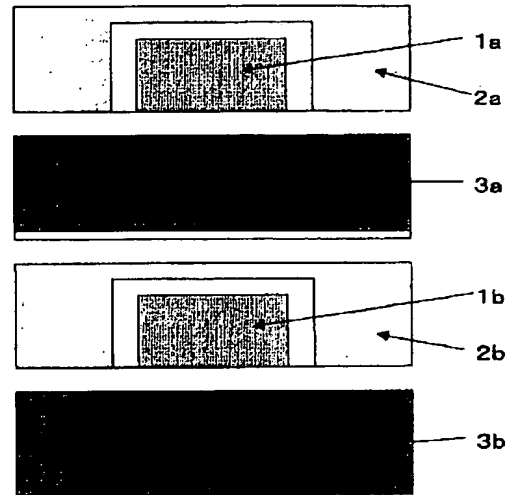
【図22】



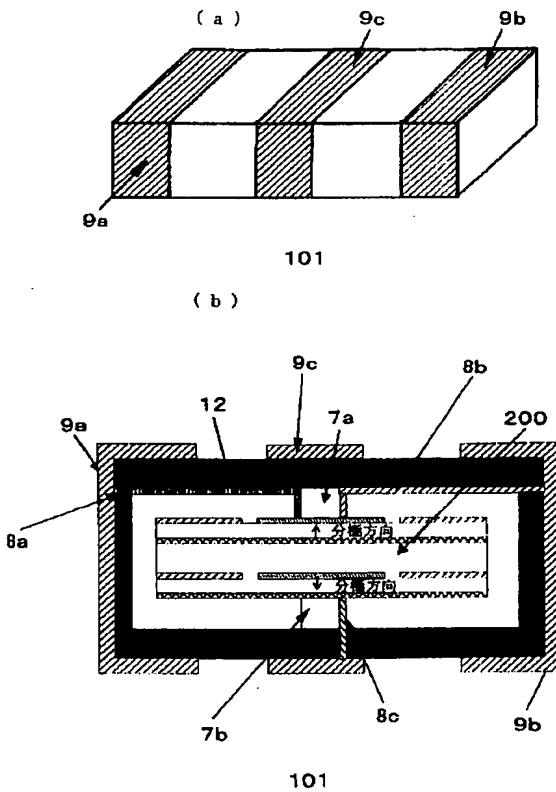
【図23】



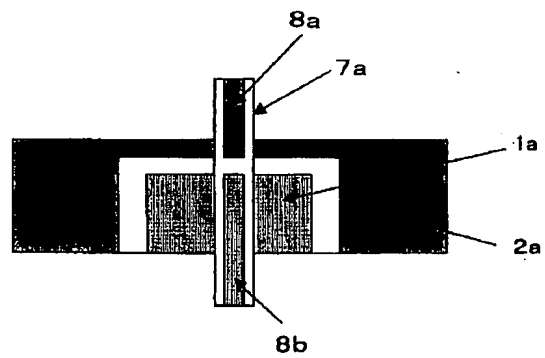
【図24】



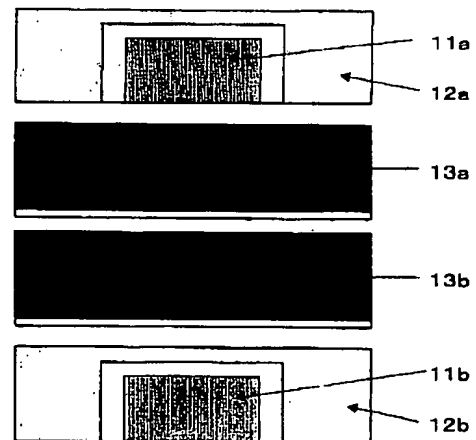
【図25】



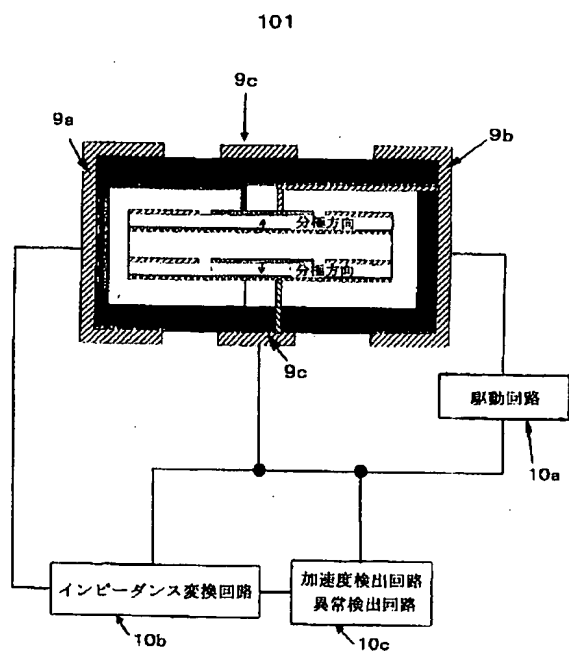
【図26】



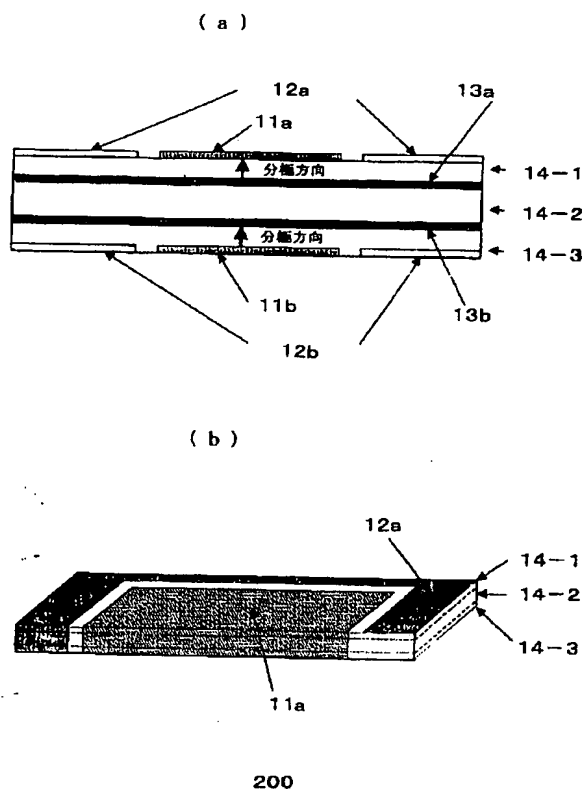
【図29】



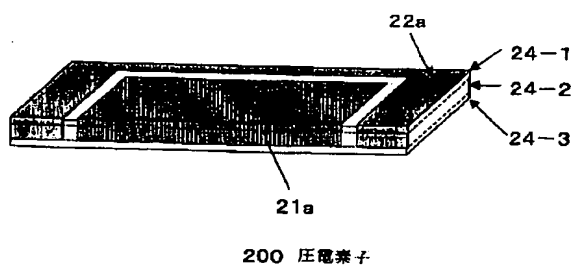
【図27】



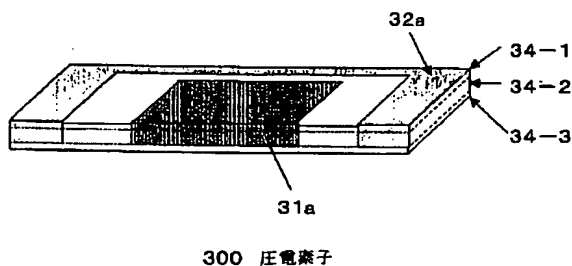
【図28】



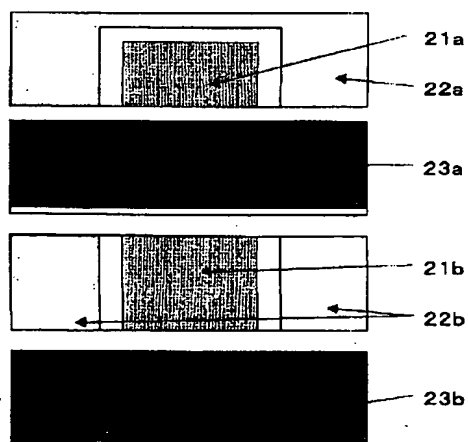
【図30】



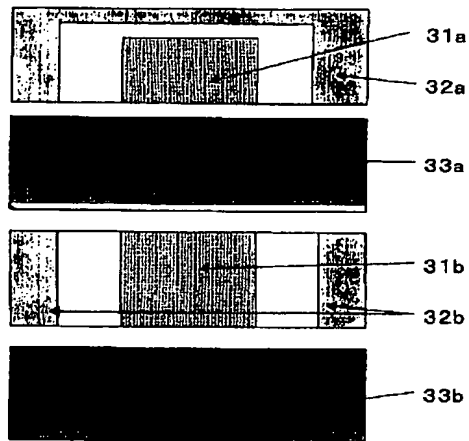
【図32】



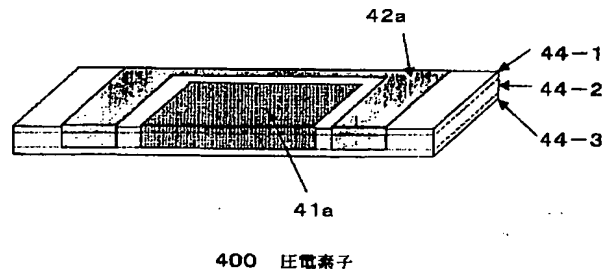
【図31】



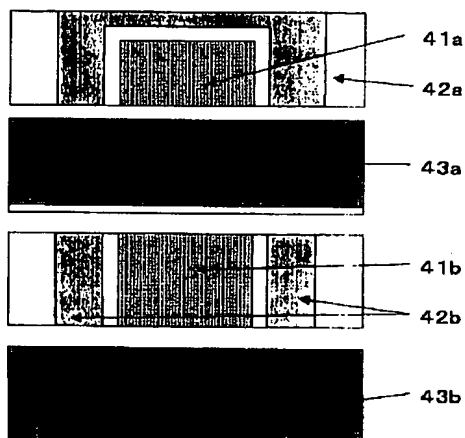
【図33】



【図34】

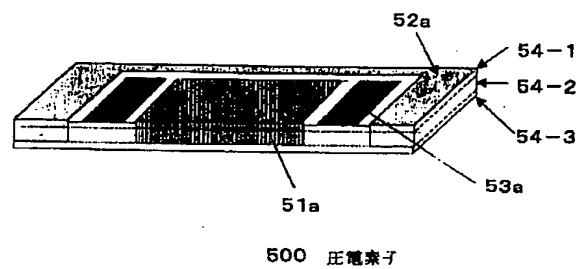


【図35】

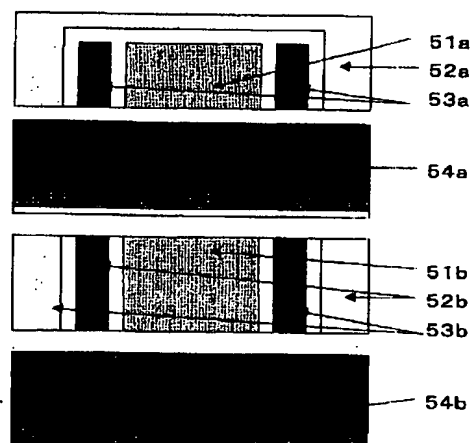


41a, 41b, 42a, 42b, 43a, 43b 電極

【図36】

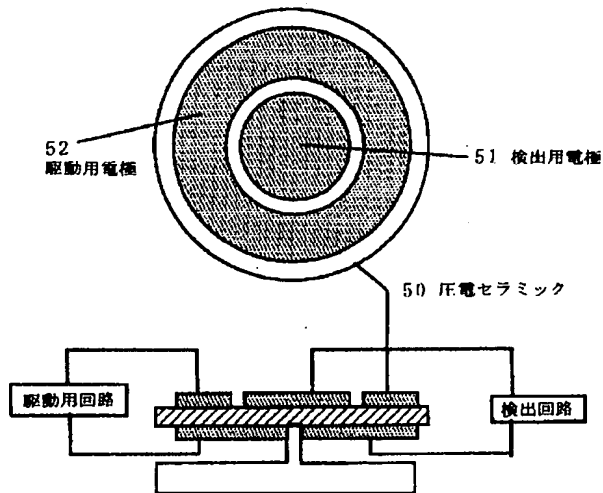


【図37】



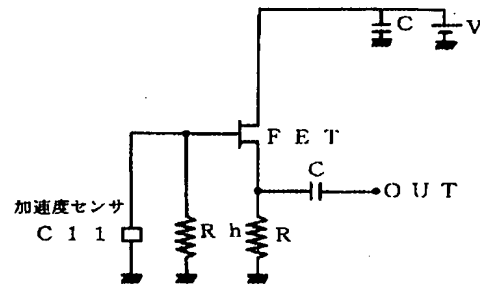
51a, 51b, 52a, 52b,
53a, 53b, 54a, 54b 電極

【図38】

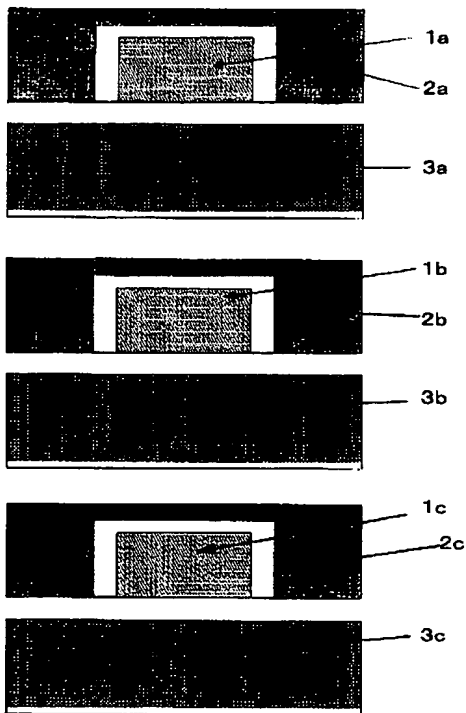


500 圧電素子

【図39】



【図40】



【図41】

